환자를 위한 방사선방어
(Radiation Protection for the Patient)

< 이 자료는 「放射線健康科學」(草間朋子 · 甲斐倫明 · 伴信彦 공저)에서
발췌한 것임, 번역 : 허준 · 최종학 >

의료영역에서 방사선의 이용은 오랜 역사를 가지고 있으며, 현재에도 환자의 진단 · 치료에 방사선 및 방사성 물질이 널리 이용되고 있다. 방사선을 이용한 새로운 영상진단, 방사선치료 장치 등이 개발되고 있어, 의료부문에서 방사선 이용은 앞으로 더욱 증대될 것으로 전망된다.

의료방사선 이용에 따라 환자 개인과 사회전체가 많은 이득을 받고 있으나, 아울러 의료방사선 이용에 따르는 방사선방어 · 관리의 필요성이 제기되고 있다. 이것은 방사선 이용에 따라, 피폭선량 중에서 환자의 피폭선량이 가장 크게 기여하고 있으며 의료피폭선량이 계속 증가하고 있는 까닭이다.

의료방사선 이용에 따른 환자피폭, 즉 의료피폭에 대해서 방사선 방어상 필요한 것은

① 각 환자에 대한 방사선 적용의 판단을 신중하게 할 것(정당화의 판단)
② 환자의 피폭선량을 되도록 작게 하기 위한 노력을 할 것(방어의 최적화)

이상의 두 가지이다.

정당화의 판단은 의사의 책임이고, 최적화의 판단은 의사와 방사선사 책임으로 실시된다. 최적화의 구체적인 방법은 개개의 진단행위 등에 따라 다르다. 장치 · 기술적 조건 등의 개선으로 달성되는 경우와 진료행위로 달성하지 않으면 안될 경우가 있다.

특히, 의료피폭 중에서 건강하고 정상적인 집단을 대상으로 실시하는 집단검진의 경우에는 정당화, 최적화의 판단을 신중히 해야 한다.

의료피폭에 대해서는 직업피폭이나 공중피폭에 대해서 정해져 있는 피폭의 상한치, 즉 선량한도가 설정되어 있지 않다. 이것은 의료피폭에 따른 환자의 이득이 있어 필요한 경우에는 의료행위를 부당하게 제한하지 않고 있는 까닭이다. 그러나, 최근에 IAEA(국제원자력기구)에서 전형적인 방사선진단 · 핵의학검사에 대한 참고치로서 가이든스 레벨(guidance level)을 제시하였으며, 이 가이든스 레벨을 초과하지 않게 방사선진료를 실시할 것을 권장하고 있다.

의료방사선 이용에 따른 피폭에는 의료피폭 이외에 직업피폭, 공중피폭이 있어서, 이와 같은 피폭에 대한 방어도 필요하다.

1. 의료피폭의 기회

환자 또는 피검자가 방사선진단 또는 방사선치료 과정에서 받은 방사선피폭을 「의료피폭(medical exposure)」라고 한다.

의료피폭의 기회로서는 다음과 같은 것이 있다.

① 특정한 개인(환자)에 대한 방사선진단 · 방사선치료
② 집단을 대상으로 하는 방사선진단(직장 건강진단, 지역 집단검진 등)
③ 지원자를 대상으로 의학연구를 위해 실시하는 방사선 이용
④ 방사선 · 치료를 받은 환자를 간호하는 가족 등의 피폭

환자에 대한 방사선진단 · 치료의 구체적인 예를 표 1에 나타냈다.

표 1. 주요한 방사선진단 · 방사선치료

진단	방사선진단	① 단순촬영, 조영촬영
		② 투시검사
		③ X선CT
		④ 골량측정
	핵의학진단	① 골 scintigraphy, 종양 scintigraphy 등
		② SPECT
		③ 갑상선 요오드 섭취율
치료	방사선치료	① 고에너지 X선, ^{60}Co 치료
		② 전자선(라이낙 등) 치료
		③ 중성자선 치료
		④ 양자선, 중입자선 치료
		⑤ 밀봉소선원(^{192}Ir, ^{137}Cs 등) 삽입, 자입치료
	핵의학치료	① ^{131}I 치료

2. 의료피폭에 대한 방사선방어

방사선방어의 기본은 ① 행위의 정당화(justification) ② 방어의 최적화(optimization) ③ 개인의 선량제한(선량한도 : dose limitation)에서 이루어진다.

그러나, 의료피폭에 있어서는 방사선방어의 기본사항 중 세 번째 선량한도는 적용되지 않는다.

의료피폭에 선량한도가 적용되지 않는 이유는 다음과 같다.

① 방사선피폭에 따른 손실에 비해서 환자의 이득이 큰 것이 확실하다.

② 상한치를 설정하면 환자에 필요한 의료행위를 제한하게 된다.

선량한도 등의 수치적 기준이 방사선방어의 모든 것을 충족하는 것은 아니며, 그러나 이것이 방사선방어의 목적을 달성하는데 중요한 역할을 한 것은 확실하다. 의료피폭에 대한 수치적 제한과 한도가 없다는 것을 방사선진료에 관계하는 의료종사자는 명심하고 「정당화의 판단」과 「방어의 최적화」에 따라서 의료피폭의 방사선방어를 철저하게 할 필요가 있다.

의도적으로 인체에 방사선을 조사하거나 방사성 물질을 투여할 수 있는 것은 의료영역 뿐이며, 실제로 그와 같은 행위를 할 수 있는 것은 의료법에 의하면 의사와 방사선사 뿐이다. 방사선방어에서 의사와 방사선사의 중요한 역할은 표 2와 같다.

표 2. 의료피폭에 대한 의사, 방사선사의 책임

의사	적용의 판단(정당화) 최적화의 판단
방사선사	최적화의 판단

3. 방사선진료 적용(정당화)의 판단

1) 환자에 대한 방사선진단(X선진단, 핵의학진단) 적용의 판단

환자에 대해서 다음 사항을 평가한 다음에 방사선진단의 적용 여부를 판단한다.

① 검사의 필요성 정도

② 검사에서 얻어지는 의료정보

③ 검사결과가 환자의 치료, 예후에 미치는 영향

④ 방사선피폭이 없는 대체 검사가 있는지 없는지

환자에게 있어서, 방사선은 감각이 없고 또한 진단과정에서 받은 선량으로는 급성 영향·장해가 발생될 염려가 없고 침습이 없다. 이와 같은 특성때문에 방사선검사는 쉽게 실시할 수 있는 경향이 있어, 각 환자마다 적용판단을 면밀하게 하지 않고 모든 환자들에게 routine 검사를 획일적으로 실시하는 경향이 있다.

2) 집단을 대상으로 한 방사선진단

집단검진은 일반국민을 대상으로 질병의 스크리닝(screening)을 목적으로 실시한다. 우리 나라에서는 주로 흉부 X선검사를 정기적으로 실시하고 있다. 또한 일본에서는 위암의 발생률이 높아 성인을 대상으로 상부소화관 X선검사도 건강진단의 항목으로 실시하고 있다.

특정한 환자를 대상으로 실시하는 방사선진단, 방사선치료의 경우에는 환자의 이득이 크고, 또한 방사선으로 인하여 편익을 받는 개인과 손해를 받는 개인이 같아서 적용의 판단(정당화의 판단)이 쉬우나, 건강한 사람을 대상으로 실시하는 X선검사는 정당화의 판단이 힘들다. 피검자 자신과 사업자, 사회에 미치는 직접 또는 간접적인 편익과 손실을 정확하게 평가한 다음에 정당화의 판정을 신중하게 할 필요가 있다.

3) 의학연구의 적용 판단

새로운 방사성 의약품·기술·장치의 개발이나 연구를 위한 방사선피폭은 피검자 자신에게 직접적인 이득이 없을 때가 많다. 의학연구의 목적으로 방사선을 인체에 조사하거나 또는 방사성 물질을 투여할 때에는 헬싱키 선언(1974년)에 따라 WHO 및 CIOMS의 가이드라인(guide-line)에 의거 실시해야 한다.

피검자는 방사선피폭에 따르는 손실을 잘 이해한 다음에 자유의지로 참가를 동의하여야 한다. 이와 같은 의학연구는 실시에 앞서 방사선피폭 등 타당성을 평가할 필요가 있다.

앞에서 설명한 것과 같이 의료피폭에 대해서는 선량한도가 적용되지 않고 있으나, 연구목적으로 실시하는 방사선피폭에 대해서는 선량 상한치를 명확하게 정해 둘 필요가 있다.

4) 방사선치료에서 적용 판단

방사선치료의 대상이 되는 질환은 대부분이 종양이다(따라서, 방사선치료학은 '방사선종양학'이라고도 한다). 종양의 치료법으로는 방사선치료 이외에 외과적 수술요법, 항암제 투여의 화학요법, 면역요법 등이 있고, 이들 치료법을 병용하기도 한다. 방사선치료의 적용은 환자의 담당의사·방사선치료 전문의사·방사선사 등 관계자들이 종양의 종류·부위·병기 등을 고려하여 판단한다.

5) 태아의 방사선방어를 위한 10일 규칙

가임 여성의 방사선진단을 실시할 때에는 모성 뿐만 아니라 태아에게 방사선피폭될 가능성이 있어 태아에 대한 피폭도 고려하여 적용판정을 해야 한다. 태아의 불필요한 피폭을 방지하기 위해서는 표 3에 나타낸 「10일 규칙(10 day-rule)」을 적용한다.

10일 규칙은 월경이 시작한 날부터 10일간은 임신될 가능성이 없어 태아가 피폭될 가능성이 전혀 없다는 원

리에서 나온 것이다. 조사야에 하복부가 포함되지 않는 검사에서는 태아가 피폭될 가능성이 작아서 방사선진단의 적용에 이 규칙을 고려할 필요는 없다.

표 3. 태아의 피폭을 방지하기 위한「10일 규칙」

10일 규칙 :
최종월경이 시작한 날부터 10일 이내에 방사선진단을 실시한다.
적용 :
① 긴급성이 없는 검사
② 하복부가 조사야에 포함된 검사(주장조영, 고관절촬영 등)

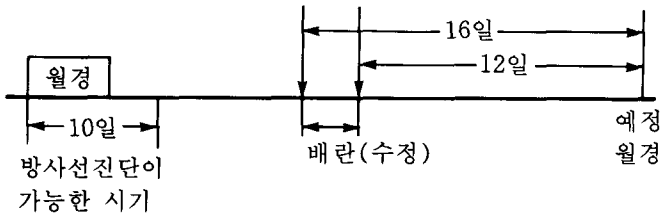

그림 1. 태아의 방사선방어를 위한「10일 규칙」

4. 의료피폭에 대한 방어의 최적화

방어의 최적화(optimization)는「사회적·경제적 요인을 고려하여 피폭선량, 피폭의 기회, 피폭 인원을 될 수 있는 한 적게 한다」는 것이다.

선량한도가 적용되지 않는 의료피폭에 대해서는 환자피폭선량을 될 수 있는 한 저감(低減)시키기 위해서 방어의 최적화는 중요하다.

표 4. 환자의 피폭선량을 결정하는 주요 인자

① 선질(관전압)
② 관전류
③ 선추(X-ray beam)의 방향
④ 선원-피부간 거리(SSD)
⑤ 조사야의 크기
⑥ 기록계의 감도
⑦ 조사시간(촬영회수, 투시시간)

1) X선진단에 대한 방어의 최적화

X선진단을 할 때에 환자의 피폭선량은 표 4에 나타낸 요인에 따라 정해진다. 환자 선량을 될 수 있는 한 저감시키고 진단에 필요한 영상을 나타내기 위해서는 이와 같은 요인을 적절히 조합하여 최적의 촬영·투시 조건을 설정할 필요가 있다.

2) in vivo 핵의학진단에 대한 방어의 최적화

환자에 불필요한 선량을 투여하지 않게 하기 위해서는 최적의 방사성 의약품을 선택하여 최적의 투여량을 선택한다. in vivo 핵의학 진단의 방사성 의약품은 다음 조건이 있어야 한다.

① 진단에 도움이 안되는 베타선이 방출되지 않는 핵종으로 된 방사성 의약품
② 실효 반감기가 될 수 있는대로 짧은 방사성 의약품
③ 생체안에서 광전효과가 잘 일어나는 100 keV 전후 에너지의 감마선을 방출하는 방사성 핵종에서 되는 방사성 의약품

방사성 의약품을 투여한 다음에 체외로 배설(방사능은 물리적 반감기와 신체의 배설작용에 의한 생물학적 반감기로 감소한다)되는 사이에는 방사성 물질은 체내에 있다. 따라서, 배설될 때까지 환자와 보호자에 대한 피폭선량을 저감하기 위해서 다음 사항에 유의한다.

① 환자의 방광에 대한 피폭선량을 작게 하기 위해서 자주 배뇨시킨다.
② 보호자의 피폭선량을 작게 하기 위해서 일정시간 동안 환자와 접촉을 되도록 피하게 한다.
③ 수유 중에는, 유아의 피폭을 피하기 위해서 최저 네시간 정도 수유를 제한한다.

또, 환자가 배설한 초기의 오줌 중에는 방사성 물질이 포함되어 있다는 것을 유의한다.

3) 방사선치료에 대한 방어의 최적화

방사선치료를 위해서는 공간적으로 최적의 선량분포를 선택하여, 종양조직 치료에 필요한 선량을 정확하게 조사하고 아울러 정상조직의 피폭선량을 될 수 있는 한 작게할 필요가 있다. 또한, 생물학적 효과가 되도록 큰 방사선, 조사방향을 선택하여 치료효과를 높힐 필요가 있다.

최근에는 장치, 기본면에서 다음과 같은 개선이 이루어지고 있다.

① 공간선량분포의 개선
  가) 양자선 치료, 중입자선 치료 등 새로운 치료장치의 개발
  나) 조사방법의 개선(회전조사, 원체조사 등)
  다) 치료계획의 개선(컴퓨터 제어, CT 시뮤레이터의 도입, 3차원 치료계획의 도입)
  라) 밀봉 소선원 치료의 적용 확대
② 생물학적 효과면에서의 개선
  가) 높은 LET 방사선의 이용(속중성자선, 양자선, 중입자선의 이용)
  나) 병용요법으로 생물효과의 증강(온열, 화학요법제 등을 병용)
  다) 선량의 시간적 배분(분할조사, hyperfractionation 등)

방사선치료에 쓰이는 선량은 방사선진단에 비하여 매우 높고, 작은 오차에 의해서도 선량차이가 크다. 따라서 방사선치료에 있어서 선량의 교정과 평가는 중요하다.

5. 의료피폭에 대한 선량 기준

의료피폭에 대해서는 앞에서 설명한 것과 같이 선량한도(dose limits)가 적용되지 않는다.

그러나, 같은 진단행위에서도 사용되는 장치, 방사선사의 기술적 인자들에 따라 환자 피폭선량은 큰 차이가 있다. 같은 검사인데도 환자 피폭선량에 있어서 큰 차이를 보이고 있는 것은 선량 저감의 가능성이 크다는 것을 시사한다. 따라서, 전형적인 방사선진단에 대해서는 검사종목마다 상한치를 설정하여 피폭선량을 저감시키는 노력이 필요하다. IAEA나 영국의 NRPB(국립방사선방어청) 등에서는 전형적인 방사선진단, in vivo 핵의학검사에 대해 가이든스 레벨을 설정하고 이 수준을 넘지 않고 검사를 실시할 것을 권고하고 있다. IAEA(국제원자력기구)에서 BSS(기본안전기준)에 제시한 전형적인 X선진단 및 in vivo 핵의학진단에 대한 가이든스 레벨을 표 5 및 표 6에 나타냈다.

표 5. 전형적인 방사선진단 행위에 대한 가이든스 레벨 (성인 환자)

검사		입사면의 선량 (1촬영당 mGy)
요추	AP	10
	LAT	30
요천부		40
흉부, IVU, 담낭	AP	10
골반	AP	10
대퇴관절	AP	10
흉부	PA	0.4
	LAT	1.5
흉추	AP	7
	LAT	20
치과	치근첨	7
두부	AP	5
	PA	5
	LAT	3
CT 스캔*	두부	50
	요추	35
	흉부	25
유방	Grid가 없을 때	1
	Grid를 사용할 때	3
투시	통상	25 mGy/분
	높은 레벨	100 mGy/분

(IAEA 기본안전기준 1994/9에서 인용)

*물팬텀의 회전축상의 선량

표 6. 전형적인 in vivo 핵의학진단을 할 때에 성인환자에 대한 방사성 의약품의 투여량

검사 종류	핵종	화합물	검사당 최대 투여량(MBq)
골 영상	^{99m}Tc	인산/인산화합물	600
골 영상(SPECT)	^{99m}Tc	인산/인산화합물	800
뇌혈류	^{99m}Tc	HMDAP	500
뇌혈류	^{133}Xe	가스	400
갑상선 영상	^{99m}Tc	TcO_4^-	200
갑상선 영상	^{123}I	I^-	20
심장 영상	^{201}T1	Tl^+	100
심장 영상(SPECT)	^{99m}Tc	인산/인산화합물	800
순환기 영상	^{99m}Tc	MAA	800
폐관류 영상	^{99m}Tc	MAA	100
폐환기량 측정	^{133}Xe	가스	400
담도·간 영상	^{99m}Tc	HIDA	150
타액선 영상	^{99m}Tc	TcO_4^-	40
종양 영상	^{67}Ga	구연산염	300

(IAEA 기본안전기준 1994/9에서 인용)

6. 의료피폭에 따르는 방사선 영향

방사선치료를 제외하고, 통상 X선진단·핵의학진단에서 방사선 영향이 문제되는 선량을 환자가 받는 경우는 없다.

환자의 의료피폭 선량을 나타낼 때에는 ① 실효선량 ② 장기선량 ③ 입사면의 피부선량 등이 쓰여진다. 의료피폭의 경우에는 거의 대부분이 부분피폭이어서 방사선 영향을 나타내기 위해서는 장기의 흡수선량을 사용하는 것이 일반적이다. 백혈병을 문제로 할 때에는 적색골수의 흡수선량, 태아 영향을 문제로 할 때에는 태아의 흡수선량, 유전적 영향을 문제로 할 때에는 생식선의 흡수선량을 쓴다.

실효선량은 부위가 틀리는 진료행위 사이의 선량을 비교하거나 의료 이외의 영역에서 피폭선량을 비교할 때에 사용하며, 확률적 영향의 detriment의 정도를 나타낸다.

입사면의 피부선량은 실제로 측정하기가 쉬워 방어의 최적화를 위해 편리한 선량이다. 예를 들면, IAEA의 선량 기준은 표 5에 표시한 것과 같이 피부의 흡수선량으로 나타내고 있다.

표 7과 표 8은 X선 진단 및 핵의학검사를 할 때의 환자 피폭선량으로, 건강장해가 발생될 가능성은 매우 작다. 그런데도 의료피폭을 저감시킬 필요가 있는 이유로서는,

① 방사선진단을 반복하는데 따라서 환자 개인이 조사받는 평생의 피폭선량을 될 수 있는 한 작게 한다.

표 7. X선검사에서 환자의 피폭선량(mGy/검사)

검사	입사면 피부	실효선량 당량(mSv)	적색골수	생식선		태아
				여성	남성	
흉부단순	0.2	0.05	0.03~0.04	–	–	–
복부단순	1.2	1.4	0.48	2.12	0.16	2.63
경추	1.5	–	0.11	–	–	–
요추	2.8	2.2	1.26	4.05	0.07	4.08
상부소화관	3.8	3.8	1.14~1.17	0.45	0.004	0.48
주장조영	21.5	7.7	2.98	7.87	0.58	8.22
유방	6.0	–	–	–	–	–
치과	2.5	–	–	–	–	–
대퇴관절	1.4	–	0.17	0.78	3.68	1.28
골반	8.0	0.17	0.27	1.48	0.57	1.28

*ICRP Publ. 34에 의해 NRPB(Documents of the NRPB 3(4)1992) 작성

표 8. 핵의학진단에서 환자의 피폭선량

검사 종류	방사성 의약품	환자 선량(mGy/MBq, mSv/MBq)			
		선량이 가장 큰 장기		실효선량당량	태아선량
		장기	선량		
골신티크램	^{99m}Tc-MDP	골표면	0.063	0.008	0.006
간신티그램	^{99m}Tc-colloid	비장	0.077	0.014	0.002
뇌신티그램	^{99m}Tc-DTPA	척추	0.046	0.011	0.005
폐	^{99m}Tc-MAA	폐	0.067	0.012	0.002
혈액량	^{99m}Tc-RBC	심장	0.023	0.0085	0.005
심근신티그램	^{201}Tl	정소	0.56	0.23	0.05
종양신티그램	^{67}Ga-citrate	골표면	0.59	0.12	0.079
갑상선신티그램	^{123}I	갑상선	4.5	0.15	0.014

*ICRP Publ. 53에 따라 작성

② 집단전체의 피폭선량을 될 수 있는 한 작게 한다.

최근에 X선영화촬영을 하는 방사선진단의 경우에는 X선관의 관전류가 종전의 X선촬영에 비해 높아, 환자의 피폭선량이 몇백 mGy로 되는 가능성이 있다.

7. 의료 이용에 따르는 공중피폭의 방어

의료 이용에 수반하는 공중피폭으로는 다음 사항을 들 수 있다.

① 환자로서 병원에 머물러 있는 동안, 다른 환자의 방사선치료와 연관하여 조사받은 선량

② 방사선의료시설에서 방출된 방사선 또는 방사성 물질에서 피폭되는 의료 방사선 이용에 대해서는 의료법에 시설·설비에 대한 규제가 있어 관리구역이나 사업소 경계에서 선량률 등의 측정을 실시한다. 선원이 잘 관리되면, 의료 이용에 따르는 일반공중에 대한 유의한 피폭은 없다고 하겠다.